

薄膜磁気ヘッドの製造方法

発明の背景

1. 発明の技術分野

本発明は、少なくとも誘導型電磁変換素子を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

2. 関連技術の説明

近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近では、ハードディスク装置の面記録密度は、100～160ギガバイト／プラッタに達し、更にそれを超える勢いである。これに伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

薄膜磁気ヘッドとしては、書き込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR（Magnetoresistive）素子とも記す。）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

記録ヘッドは、一般的に、記録媒体に対向する媒体対向面（エアベアリング面）と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された下部磁極層および上部磁極層と、下部磁極層の磁極部分と上部磁極層の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層と、少なくとも一部が下部磁極層および上部磁極層の間に、これらに対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。

ところで、記録ヘッドの性能のうち、記録密度を高めるには、記録媒体におけるトラック密度を上げる必要がある。そのためには、トラック幅、すなわち記録ギャップ層を挟んで対向する2つの磁極部分の媒体対向面での幅を、数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現する必要がある。このような記録ヘッドを実現するために半導体加工技術が利用されている。

また、薄膜磁気ヘッドの記録特性に影響を与えるパラメータの一つに、スロートハイドがある。スロートハイドとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して

対向する部分、すなわち磁極部分の、媒体対向面側の端部から反対側の端部までの長さ（高さ）をいう。このスロートハイトは、媒体対向面において記録ギャップ層の近傍で発生される磁界の強度や分布に影響を与える。

また、記録ヘッドには、重ね書きの性能であるオーバーライト特性が優れていることが要求される。このオーバーライト特性を向上させるには、2つの磁極層を通過する磁束を、できるだけ多く磁極部分に導き、媒体対向面において記録ギャップ層の近傍で大きな磁界を発生させることが必要である。従って、オーバーライト特性を向上させるには、磁極部分の厚みを大きくしたり、スロートハイトを小さくすることが有効である。

米国特許第5,793,578号明細書において従来技術として挙げられているように、従来の薄膜磁気ヘッドでは、上部磁極層によってトラック幅とスロートハイトを規定する場合が多かった。この場合には、例えば、薄膜コイルを覆う絶縁層が、記録ギャップ層の上面よりも上方に突出するように設けられ、この絶縁層の媒体対向面側の端部がスロートハイトを規定する。上部磁極層は、一端が媒体対向面に配置され、トラック幅を規定するトラック幅規定部と、このトラック幅規定部よりも媒体対向面から遠い位置に配置され、トラック幅よりも広い幅を有する幅広部とを有する。上部磁極層は、記録ギャップ層および上記絶縁層の上に、例えばフレームめっき法によって形成される。

ここで、上述のように記録ギャップ層、およびスロートハイトを規定する絶縁層の上に、フレームめっき法によって上部磁極層を形成する方法について説明する。この方法では、まず、記録ギャップ層、およびスロートハイトを規定する絶縁層の上に電極膜を形成する。次に、この電極膜の上にフォトレジスト層を形成する。ここでは、フォトレジスト層は、ポジ型レジストによって形成されるものとする。次に、フォトレジスト層を、上部磁極層の形状に対応したパターンの光によって露光する。次に、フォトレジスト層を現像する。これにより、フォトレジスト層に、上部磁極層の形状に対応した溝部が形成され、このフォトレジスト層がフレームとなる。次に、このフレームを用い、電極膜に電流を流して電気めっきを行い、上記溝部内に上部磁極層を形成する。

上記の方法では、以下のような問題点がある。すなわち、フォトレジスト層を

露光する際には、露光用の光が電極膜によって反射される。ここで、スロートハイトを規定する絶縁層の表面のうち、媒体対向面に近い部分は斜面になっている。そのため、上記斜面上の電極膜で反射された光の一部は、フォトレジスト層のうち、上部磁極層の磁極部分に対応する部分に到達する。そのため、フォトレジスト層のうち、上部磁極層の磁極部分に対応する部分は、磁極部分に対応したパターンの光によって露光される他、上記斜面上の電極膜で反射された光の一部によっても露光される。そのため、上記の方法では、フレームのうち、上部磁極層の磁極部分に対応する部分を精度よく形成することが困難であった。特に、上記の方法では、幅が $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$ で、且つ十分な厚みを有する磁極部分を形成することはきわめて困難であった。

そこで、下部磁極層に凹部を形成し、この凹部内に薄膜コイルを収納し、上部磁極層を平坦な面の上に形成した薄膜磁気ヘッドも提案されている。このようなヘッドでは、凹部の媒体対向面側の端部によってスロートハイトが規定される。このようなヘッドは、例えば米国特許第5,793,578号明細書、米国特許第6,400,525B1号明細書、および米国特許第6,259,583B1号明細書に記載されている。このヘッドでは、スロートハイトを規定する絶縁層の上に上部磁極層を形成する場合に比べると、上部磁極層の磁極部分を精度よく形成することが可能になる。

しかしながら、上部磁極層を平坦な面の上に形成する場合であっても、上部磁極層をフレームめつき法によって形成する場合には、以下のような問題点がある。前述のように、上部磁極層は、トラック幅規定部と幅広部とを有する。オーバーライト特性を向上させるためには、媒体対向面に垂直な方向についてのトラック幅規定部の長さは小さい方が望ましい。幅広部は、トラック幅規定部よりもかなり大きい。そのため、フォトレジスト層の露光の際に、電極膜のうちの幅広部に対応する部分で反射された光の一部が、フォトレジスト層のうち、上部磁極層のトラック幅規定部と幅広部の境界部分に対応する部分の周辺に到達する。その結果、フレームのうち、上記境界部分に対応する部分の近傍の形状が崩れてしまうという問題が発生する。反射光は広がりながら進むため、フレームの形状の崩れはフレームの上側ほど大きくなる。このようなフレームの形状の崩れによって

、上部磁極層のトラック幅規定部と幅広部の境界部分の近傍の形状の崩れが生じる。そして、特に、トラック幅が小さい場合や、媒体対向面に垂直な方向についてのトラック幅規定部の長さが小さい場合には、上述のような上部磁極層の形状の崩れが生じると、トラック幅を正確に規定することが困難になる。

また、特にトラック幅が小さくなってくると、オーバーライト特性を向上させるために、トラック幅規定部の厚みを大きくすることが要求される。しかしながら、前述のように、フレームの形状の崩れはフレームの上側ほど大きくなることから、トラック幅規定部の厚みが大きくなるほど、前述のフレームの形状の崩れによる問題が顕著になる。

発明の目的および概要

本発明の目的は、トラック幅を規定するトラック幅規定層を精度よく形成できるようにした薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することにある。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法によって製造される薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された第1および第2の磁極層と、第1の磁極層の磁極部分と第2の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、少なくとも一部が第1および第2の磁極層の間に、第1および第2の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。一方の磁極層は、トラック幅規定層を有している。トラック幅規定層は、媒体対向面に配置された一端部とその反対側の他端部とトラック幅に等しい幅とを有するトラック幅規定部と、トラック幅規定部の他端部に連結され、トラック幅よりも広い幅を有する幅広部とを含んでいる。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法は、第1の磁極層を形成する工程と、第1の磁極層の上に薄膜コイルを形成する工程と、第1の磁極層の磁極部分の上にギャップ層を形成する工程と、ギャップ層の上に第2の磁極層を形成する工程とを備えている。一方の磁極層を形成する工程は、トラック幅規定層を形成する工程を含んでいる。トラック幅規定層を形成する工程は、レジスト層を形成する工程と、レジスト層にトラック幅規定層に対応した潜像が形成されるようにレジスト

層を放射エネルギーによって露光する工程と、露光後のレジスト層を現像して、トラック幅規定層に対応した溝部を有するフレームを形成する工程と、フレームを用いて、めっき法により、トラック幅規定層を形成する工程とを含んでいる。

レジスト層を露光する工程は、レジスト層に第1の潜像が形成されるように、レジスト層を放射エネルギーによって露光する第1の露光工程と、第1の露光工程の前または後に実施され、レジスト層に第2の潜像が形成されるように、レジスト層を放射エネルギーによって露光する第2の露光工程とを含んでいる。第1の潜像は、トラック幅規定部に対応する第1の部分と、この第1の部分に連続して幅広部の輪郭の少なくとも一部に沿って延びる第2の部分からなるものである。第2の潜像は、第1の潜像と合成されてトラック幅規定層に対応した潜像を形成するものであって、トラック幅規定部に対応する部分を含まないものである。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、第1の露光工程によって、レジスト層に、トラック幅規定部に対応する第1の部分と、この第1の部分に連続して幅広部の輪郭の少なくとも一部に沿って延びる第2の部分からなる第1の潜像が形成される。また、本発明では、第2の露光工程によって、レジスト層に、第1の潜像と合成されてトラック幅規定層に対応した潜像を形成するものであって、トラック幅規定部に対応する部分を含まない第2の潜像が形成される。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、第1の露光工程においてレジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量は、第2の露光工程においてレジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量よりも多くてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、第1の潜像の一部と第2の潜像の一部は重なってもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、第1の磁極層は、スロートハイドを規定し、第2の磁極層がトラック幅規定層を有していてもよい。この場合、トラック幅規定層は、平坦なギャップ層の上に配置されていてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、トラック幅は、0.05～0.15μmの範囲内であってもよい。また、媒体対向面に垂直な方向についてのトラック幅規定部の長さは、0.05～0.5μmの範囲内であってもよい。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、第1の露光工程と第2の露光工程を、それぞれに適した条件で行なうことができ、これにより、トラック幅を規定するトラック幅規定層を精度よく形成することが可能になる。

本発明のその他の目的、特徴および利益は、以下の説明を以って十分明白になるであろう。

図面の簡単な説明

図1Aおよび図1Bは、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

図2Aおよび図2Bは、図1Aおよび図1Bに続く工程を説明するための断面図である。

図3Aおよび図3Bは、図2Aおよび図2Bに続く工程を説明するための断面図である。

図4Aおよび図4Bは、図3Aおよび図3Bに続く工程を説明するための断面図である。

図5Aおよび図5Bは、図4Aおよび図4Bに続く工程を説明するための断面図である。

図6Aおよび図6Bは、図5Aおよび図5Bに続く工程を説明するための断面図である。

図7Aおよび図7Bは、図6Aおよび図6Bに続く工程を説明するための断面図である。

図8Aおよび図8Bは、図7Aおよび図7Bに続く工程を説明するための断面図である。

図9Aおよび図9Bは、図8Aおよび図8Bに続く工程を説明するための断面図である。

図10Aおよび図10Bは、図9Aおよび図9Bに続く工程を説明するための断面図である。

図11Aおよび図11Bは、図10Aおよび図10Bに続く工程を説明するための断面図である。

図12Aおよび図12Bは、図11Aおよび図11Bに続く工程を説明するための断面図である。

図13Aおよび図13Bは、図12Aおよび図12Bに続く工程を説明するための断面図である。

図14Aおよび図14Bは、図13Aおよび図13Bに続く工程を説明するための断面図である。

図15Aおよび図15Bは、図14Aおよび図14Bに続く工程を説明するための断面図である。

図16Aおよび図16Bは、図15Aおよび図15Bに続く工程を説明するための断面図である。

図17Aおよび図17Bは、図16Aおよび図16Bに続く工程を説明するための断面図である。

図18は、本発明の第1の実施の形態における薄膜磁気ヘッドにおける主要部を示す平面図である。

図19は、本発明の第1の実施の形態における薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

図20は、本発明の第1の実施の形態における第1の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

図21は、本発明の第1の実施の形態における第2の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

図22は、本発明の第2の実施の形態における第1の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

図23は、本発明の第2の実施の形態における第2の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

図24Aおよび図24Bは、本発明の第3の実施の形態における薄膜磁気ヘッドを示す断面図である。

図25は、図24Aおよび図24Bに示した薄膜磁気ヘッドにおける上部磁極層の第1の層とその周辺を示す平面図である。

図26は、本発明の第3の実施の形態における第1の露光工程においてフォト

レジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

図27は、本発明の第3の実施の形態における第2の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を示す説明図である。

好適な実施の形態の詳細な説明

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[第1の実施の形態]

まず、図1Aないし図17A、図1Bないし図17B、図18および図19を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。なお、図1Aないし図17Aはエアペアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図1Bないし図17Bは磁極部分のエアペアリング面に平行な断面を示している。図18は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドにおける主要部を示す平面図である。図19は、オーバーコート層を除いた状態における本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、まず、図1Aおよび図1Bに示したように、例えばアルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$) よりなる基板1の上に、例えばアルミナ (Al_2O_3) よりなる絶縁層2を、約2～5 μmの厚みに形成する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料、例えばパーマロイよりなる再生ヘッド用の下部シールド層3を、約2～3 μmの厚みに形成する。下部シールド層3は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めつき法によって、絶縁層2の上に選択的に形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層41を、例えば3～4 μmの厚みに形成し、例えば化学機械研磨（以下、CMPと記す。）によって、下部シールド層3が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、下部シールド層3の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜4を、例えば約20～40 nmの厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、磁気的信号検出用のMR素子5を、数十nmの厚みに形成する。MR素子5は、例えば、スパッタによって形成したMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、MR素子5は、後述するエアペアリング面が形成さ

れる位置の近傍に配置される。なお、MR素子5には、AMR（異方性磁気抵抗効果）素子、GMR（巨大磁気抵抗効果）素子、あるいはTMR（トンネル磁気抵抗効果）素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5に電気的に接続される一対の電極層6を、数十nmの厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜4およびMR素子5の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜7を、例えば約20～40nmの厚みに形成し、MR素子5をシールドギャップ膜4、7内に埋設する。シールドギャップ膜4、7に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）等がある。また、シールドギャップ膜4、7は、スパッタ法によって形成してもよいし、化学的気相成長（以下、CVDと記す。）法によって形成してもよい。

次に、上部シールドギャップ膜7を選択的にエッチングして、各電極層6のうちのエアベアリング面から遠い端部の近傍の部分の上において、上部シールドギャップ膜7に開口部を形成する。次に、上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料よりなる、再生ヘッド用の上部シールド層8を、約1.0～1.5μmの厚みで、選択的に形成する。このとき、同時に、上部シールドギャップ膜7の開口部より露出する各電極層6の上に、それぞれ接続層42を形成する。接続層42は、上部シールド層8と同じ材料で同じ厚みに形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層43を、上部シールド層8の厚み以上の厚みに形成し、例えばCMPによって、上部シールド層8および接続層42が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

図2Aおよび図2Bは次の工程を示す。この工程では、ここまで得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層9を、約0.15～0.2μmの厚みに形成する。次に、絶縁層9を選択的にエッチングして、接続層42の上において絶縁層9に開口部を形成する。このとき、同時に、上記開口部よりもエアベアリング面から遠い位置において、絶縁層9を選択的にエッチングして、絶縁層9に指標44を形成する。指標44は、後に形成される層の位置決めのために用いられる。

図3Aおよび図3Bは次の工程を示す。この工程では、絶縁層9の上に、磁性

材料よりなる磁性層10a_pを例えば0.5～1.0μmの厚みに形成する。磁性層10a_pは、後述する下部磁極層10の第1の層10aを形成するために用いられる。下部磁極層10は、第1の層10aと、後述する第2ないし第5の層10b, 10c, 10d, 10eとを含む。

磁性層10a_pは、材料として高飽和磁束密度材料であるFeAlN、FeN、FeCo、CoFeN、FeZrN等を用いて、スパッタ法によって形成する。なお、磁性層10a_pは、材料としてNiFe（Ni：80重量%，Fe：20重量%）や、高飽和磁束密度材料であるNiFe（Ni：45重量%，Fe：55重量%）等を用いて、めっき法によって形成してもよい。

次に、磁性層10a_pの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜11を、0.2μmの厚みに形成する。次に、絶縁膜11を選択的にエッチングして、第2の層10bと第3の層10cを形成すべき各位置と、接続層42の上の位置において、絶縁膜11に開口部を形成する。このとき、同時に、接続層42の上に形成された開口部よりもエアベアリング面から遠い位置において、絶縁膜11を選択的にエッチングして、絶縁膜11に指標45を形成する。指標45は、後に形成される層の位置決めのために用いられる。

図4Aおよび図4Bは次の工程を示す。この工程では、図示しないが、磁性層10a_pおよび絶縁膜11を覆うように、例えばスパッタ法によって、導電性材料よりなる電極膜を、50～80nmの厚みに形成する。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、電極膜の上に、フレームめっき法によって第1のコイル13を形成するためのフレームを形成する。

次に、電極膜を用いて電気めっきを行って、例えばCuよりなる第1のコイル13を、約2.0～3.0μmの厚みに形成する。このとき、同時に、接続層42の上の位置において、磁性層10a_pの上に、接続層48を形成する。接続層48は、第1のコイル13と同じ材料で同じ厚みに形成する。第1のコイル13は、絶縁膜11が配置された領域内に配置される。なお、図4Aにおいて、符号13aは、第1のコイル13における内側端部近傍の部分であって、後述する接続層33aに接続される接続部を示している。次に、フレームを除去した後、例

えばイオンビームエッティングによって、電極膜のうち、第1のコイル13および接続層48の下に存在する部分以外の部分を除去する。

次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、積層体の上に、フレームめっき法によって第2の層10bおよび第3の層10cを形成するためのフレームを形成する。

図5Aおよび図5Bは次の工程を示す。この工程では、電気めっきを行って、磁性層10apの上に、それぞれ磁性材料よりなる第2の層10bおよび第3の層10cを、それぞれ例えば2.5～3.5μmの厚みに形成する。第2の層10bおよび第3の層10cの材料としては、例えば、飽和磁束密度が1.8～1.9TのCoNiFe(Co:67重量%, Ni:15重量%, Fe:18重量%)または飽和磁束密度が2.4TのFeCo(Fe:約60重量%, Co:約40重量%)が用いられる。本実施の形態では、第2の層10bおよび第3の層10cをめっき法によって形成する際に、特別な電極膜を設けずに、パターニングされていない磁性層10apをめっき用の電極およびシード層として用いる。

第2の層10bは、エアベアリング面の近傍に配置される。第3の層10cは、第1の層10aと後述する上部磁極層とを接続するための部分であり、第1のコイル13の中心の近傍の位置に配置される。

図6Aおよび図6Bは次の工程を示す。この工程では、第1のコイル13、第2の層10bおよび第3の層10cを覆うようにフォトレジスト層49を形成し、接続層48を覆うようにフォトレジスト層50を形成し、指標45の周辺を覆うようにフォトレジスト層51を形成する。次に、フォトレジスト層49, 50, 51をマスクとして、例えばイオンビームエッティングによって、磁性層10apを選択的にエッティングする。これにより残った磁性層10apによって、第1の層10a、接続層46および磁性層47が形成される。第1の層10aはフォトレジスト層49の下に形成され、接続層46はフォトレジスト層50の下に形成され、磁性層47はフォトレジスト層51の下に形成される。

図7Aおよび図7Bは次の工程を示す。この工程では、後述する第2のコイルを配置すべき位置に、例えばフォトレジストよりなる絶縁層15を形成する。この絶縁層15は、少なくとも第1のコイル13の巻線間に充填されるように形成

される。絶縁層 1 5 の一部は、第 1 のコイル 1 3 の外周部の外側および第 1 のコイル 1 3 の内周部の内側に配置される。

図 8 A および図 8 B は次の工程を示す。この工程では、絶縁層 1 5 を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層 1 6 を、 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、例えば CMP によって、絶縁層 1 5 が露出し、且つ絶縁層 1 5 および絶縁層 1 6 の上面が平坦化されるように、絶縁層 1 5 および絶縁層 1 6 を研磨する。次に、絶縁層 1 5 を除去する。

図 9 A および図 9 B は次の工程を示す。この工程では、例えば CVD 法によって、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるコイル間絶縁膜 1 7 を、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、図示しないが、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法によって、導電性材料よりなる電極膜を形成する。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、電極膜の上に、めっき法によって、例えば Cu よりなる導電層を、例えば $3 \sim 4 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、例えば CMP によって、第 2 の層 1 0 b、第 3 の層 1 0 c、第 1 のコイル 1 3 および接続層 4 8 が露出するまで、導電層を研磨する。これにより、第 1 のコイル 1 3 の巻線間等の溝内に残った導電層によって、第 2 のコイル 1 8 が形成される。上記研磨は、第 1 のコイル 1 3 および第 2 のコイル 1 8 の厚みが例えば $2.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ になるように行う。

図 1 8 に示したように、第 1 のコイル 1 3 における外側端部近傍には、接続層 3 5 a に接続される接続部 1 3 b が設けられている。また、第 2 のコイル 1 8 は、内側端部近傍と外側端部近傍においてそれぞれ、接続層 3 4 a、3 3 a に接続される接続部 1 8 a、1 8 b を有している。

なお、第 1 のコイル 1 3 を形成する工程または第 2 のコイル 1 8 を形成する工程では、図 1 8 に示したように、下部磁極層 1 0 の第 1 の層 1 0 a の外側に配置されるように、2つのリード層 3 6、3 7 を形成する。リード層 3 6、3 7 は、それぞれ、接続層 3 4 a、3 5 a に接続される接続部 3 6 a、3 7 a を有している。

図 1 0 A および図 1 0 B は次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるコイル被覆絶縁膜 1 9 を、 $0.1 \sim 0.$

$3 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、コイル被覆絶縁膜19のうち、第2の層10bに対応する部分、第3の層10cに対応する部分、第1のコイル13の接続部13a, 13bに対応する部分、第2のコイル18の接続部18a, 18bに対応する部分、リード層36の接続部36aに対応する部分、およびリード層37の接続部37aに対応する部分を選択的にエッチングする。このとき、同時に、接続層48よりもエアペアリング面から遠い位置において、コイル被覆絶縁膜19を選択的にエッチングして、コイル被覆絶縁膜19に指標52を形成する。指標52は、後に形成される層の位置決めのために用いられる。エッチング後のコイル被覆絶縁膜19は、第1のコイル13の2つの接続部13a, 13bおよび第2のコイル18の2つの接続部18a, 18bを除いて、コイル13, 18の上面を覆う。

図11Aおよび図11Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層20を、 $0.8 \sim 1.2 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。磁性層20の材料としては、例えば、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)のうち、少なくとも鉄を含む金属磁性材料が用いられる。このような磁性材料としては、例えば、NiFe、CoNiFe、FeCo、FeN、CoFeNがある。このうち、本実施の形態では、Coを含む高飽和磁束密度材料、例えば、飽和磁束密度が $1.8 \sim 1.9\text{T}$ のCoNiFeや、飽和磁束密度が $2.3 \sim 2.4\text{T}$ のFeCoまたはCoFeNを用いるのが好ましい。

次に、磁性層20の上であって、第2の層10bに対応する部分、第3の層10cに対応する部分、第1のコイル13の接続部13aに対応する部分、接続層48に対応する部分に、それぞれ、エッチングマスク21a, 21b, 21c, 21dを、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ の厚みに形成する。図示しないが、このとき、磁性層20の上であって、第1のコイル13の接続部13bに対応する部分、第2のコイル18の2つの接続部18a, 18bに対応する2つの部分、およびリード層36, 37の接続部36a, 37aに対応する部分にも、エッチングマスク21a, 21b, 21cと同様のエッチングマスクを形成する。

上記エッチングマスクの材料としては、金属材料を用いてよい。この場合、

エッティングマスクは、めっき法、特にフレームめっき法によって形成してもよい。また、エッティングマスクの材料は、磁性層20を構成する材料とは異なる磁性材料によって形成してもよい。この磁性材料としては、NiFe、CoNiFe等の、NiおよびFeを含む材料であってもよい。また、エッティングマスクは、Ni、NiCu、NiP、NiB等の、Niを含む材料によって形成してもよい。

また、エッティングマスクの材料としては、アルミナ等の絶縁材料を用いてもよい。この場合、エッティングマスクは、例えば、フォトレジスト層をマスクとしてスパッタ法によって形成される。

図12Aおよび図12Bは次の工程を示す。この工程では、上記エッティングマスクを用い、反応性イオンエッティング（以下、RIEと記す。）によって、磁性層20をエッティングする。エッティング後にエッティングマスク21a～21dの下に残った磁性層20によって、第4の層10d、第5の層10e、接続部層22および接続層53が形成される。同様に、図示しない他の5つのエッティングマスクの下に残った磁性層20によって、それぞれ図示しない5つの接続部層が形成される。第4の層10dは第2の層10bの上に配置され、第5の層10eは第3の層10cの上に配置され、接続部層22は接続部13aの上に配置され、接続層53は接続層48の上に配置される。他の5つの接続部層は、それぞれ、接続部13b、18a、18b、36a、37aの上に配置される。なお、RIEの代わりにイオンビームエッティングを用いて磁性層20をエッティングしてもよい。

第4の層10dのエアベアリング面から遠い端部は、記録ヘッドのスロートハイトを規定する。スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分、すなわち磁極部分の、エアベアリング面側の端部から反対側の端部までの長さ（高さ）をいう。

また、第3の層10cおよび第5の層10eは、下部磁極層10と上部磁極層とを磁気的に連結する連結部31を構成する。

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層24を、1.5～2.0μmの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、絶縁層

2 4 を研磨する。この研磨は、エッチングマスクが除去され、且つ第4の層 1 0 d、第5の層 1 0 e、接続部層 2 2、接続層 5 3、他の5つの接続部層および絶縁層 2 4 の上面が平坦化されるように行われる。

次に、積層体の上面全体を覆うように、記録ギャップ層 2 5 を、0. 0 6 ~ 0 . 0 8 μm の厚みに形成する。記録ギャップ層 2 5 の材料は、アルミナ等の絶縁材料でもよいし、Ru、NiCu、NiB 等の非磁性金属材料でもよい。次に、記録ギャップ層 2 5 のうち、第5の層 1 0 e、接続部層 2 2、接続層 5 3 および他の5つの接続部層に対応する部分を選択的にエッチングする。このとき、同時に、接続層 5 3 よりもエアベアリング面から遠い位置において、記録ギャップ層 2 5 を選択的にエッチングして、記録ギャップ層 2 5 に指標 5 4 を形成する。指標 5 4 は、後に形成される層の位置決めのために用いられる。

図 1 3 A および図 1 3 B は次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層 2 6 を、0 . 5 ~ 1. 2 μm の厚みに形成する。磁性層 2 6 の材料としては、例えば、鉄、ニッケル、コバルトのうち、少なくとも鉄を含む金属磁性材料が用いられる。このような磁性材料としては、例えば、NiFe、CoNiFe、FeCo、FeN、CoFeN がある。このうち、本実施の形態では、Co を含む高飽和磁束密度材料、例えば、飽和磁束密度が 1. 8 ~ 1. 9 T の CoNiFe や、飽和磁束密度が 2. 3 ~ 2. 4 T の FeCo または CoFeN を用いるのが好ましい。

次に、積層体の上面全体を覆うように、フォトレジスト層 5 6 p を形成する。ここでは、フォトレジスト層 5 6 p は、ポジ型レジストによって形成されるものとする。

図 1 4 A および図 1 4 B は次の工程を示す。この工程では、フォトリソグラフィによって、フォトレジスト層 5 6 p をパターニングして、フレームめっき法によって上部磁極層および複数の接続層を形成するためのフレーム 5 6 を形成する。すなわち、この工程では、まず、フォトレジスト層 5 6 p を、上部磁極層および複数の接続層の形状に対応したパターンの光によって露光する。次に、フォトレジスト層 5 6 p を現像する。これにより、フォトレジスト層 5 6 p に、上部磁極層および複数の接続層に対応した複数の溝部が形成され、このフォトレジスト

層 5 6 p がフレーム 5 6 となる。図 1 4 A には、フォトレジスト層 5 6 p に形成された溝部のうち、上部磁極層に対応した溝部 5 6 a と、接続部層 2 2 に接続される接続層に対応した溝部 5 6 b と、接続層 5 3 に接続される接続層に対応した溝部 5 6 c とが示されている。図示しないが、フォトレジスト層 5 6 p には、他の 2 つの接続層に対応した溝部も形成される。なお、本実施の形態におけるフォトレジスト層 5 6 p の露光方法については、後で詳しく説明する。

図 1 5 A および図 1 5 B は次の工程を示す。この工程では、上記フレーム 5 6 を用い、フレームめっき法によって、磁性層 2 6 の上に、上部磁極層 2 7 の第 2 の層 2 7 b と、接続層 3 3 b と、接続層 5 7 b と、図 1 8 に示した接続層 3 4 b, 3 5 b とを、例えば 1 ~ 2 μ m の厚みに形成する。第 2 の層 2 7 b および接続層 3 3 b, 5 7 b, 3 4 b, 3 5 b は、磁性層 2 6 を構成する材料とは異なる金属磁性材料、例えば NiFe または CoNiFe によって形成される。第 2 の層 2 7 b は、下部磁極層 1 0 の第 4 の層 1 0 d に対応する位置から第 5 の層 1 0 e に対応する位置にかけて配置される。接続層 3 3 b は、接続部 1 3 a に対応する位置から接続部 1 8 b に対応する位置にかけて形成される。接続層 5 7 b は、接続層 5 3 に対応する位置に形成される。接続層 3 4 b は、接続部 1 8 a に対応する位置から接続部 3 6 a に対応する位置にかけて形成される。接続層 3 5 b は、接続部 1 3 b に対応する位置から接続部 3 7 a に対応する位置にかけて形成される。

次に、第 2 の層 2 7 b、接続層 3 3 b, 5 7 b, 3 4 b, 3 5 b をエッティングマスクとして、RIE によって、磁性層 2 6 を選択的にエッティングする。これにより、エッティング後に残った磁性層 2 6 によって、上部磁極層 2 7 の第 1 の層 2 7 a と、接続層 3 3 a, 5 7 a, 3 4 a, 3 5 a が形成される。第 1 の層 2 7 a は第 2 の層 2 7 b の下に配置される。接続層 3 3 a, 5 7 a, 3 4 a, 3 5 a は、それぞれ接続層 3 3 b, 5 7 b, 3 4 b, 3 5 b の下に配置される。

上部磁極層 2 7 は、記録ギャップ層 2 5 に接する第 1 の層 2 7 a と、この第 1 の層 2 7 a の上に配置された第 2 の層 2 7 b とを有している。また、図 1 9 に示したように、上部磁極層 2 7 は、エアベアリング面に配置される一端部とエアベアリング面から離れた位置に配置される他端部とを有するトラック幅規定部 2 7

Aと、このトラック幅規定部27Aの他端部に連結された幅広部27Bとを含んでいる。トラック幅規定部27Aは、記録トラック幅に等しい幅を有している。また、トラック幅規定部27Aは、上部磁極層27における磁極部分を構成する。トラック幅規定部27Aは、記録トラック幅よりも広い幅を有している。具体的には、幅広部27Bの幅は、トラック幅規定部27Aとの境界位置ではトラック幅規定部27Aの幅と等しく、トラック幅規定部27Aから離れるに従って、徐々に大きくなつた後、一定の大きさになつてゐる。

第1の層27aと第2の層27bは、それぞれ、トラック幅規定部27Aに対応し、記録トラック幅に等しい幅を有するトラック幅規定部27Aa, 27Abと、幅広部27Bに対応し、記録トラック幅よりも広い幅を有する幅広部27Ba, 27Bbとを含んでゐる。

なお、上部磁極層27を形成した後、例えばイオンビームエッチングによってトラック幅規定部27Aの側壁部をエッチングして、トラック幅規定部27Aの幅を小さくしてもよい。

図16Aおよび図16Bは次の工程を示す。この工程では、まず、図示しないが、トラック幅規定部27Aの周辺部で開口するフォトレジストマスクを形成する。次に、上記フォトレジストマスクと上部磁極層27とをマスクとし、例えば、エッチングガスとしてC₁, とBC₁, の混合ガスを用いたRIEや、イオンビームエッチングによって、トラック幅規定部27Aの周辺部における記録ギャップ層25をエッチングする。

次に、上部磁極層27およびその下の記録ギャップ層25と上記フォトレジストマスクとをマスクとし、例えばイオンビームエッチングによって、トラック幅規定部27Aの周辺部における下部磁極層10の第4の層10dの一部をエッチングする。なお、第4の層10dのエッチングには、イオンビームエッチングの代わりに、磁性層26のエッチングの際と同様の条件のRIEを用いてもよい。

このようにして、図16Bに示したようなトリム構造が形成される。このトリム構造によれば、狭トラックの書き込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加を防止することができる。第4の層10dのうち、記録ギャップ層25を介して上部磁極層27のトラック幅規定部27Aと対向する部

分は、下部磁極層 10 の磁極部分である。

図 17 A および図 17 B は次の工程を示す。この工程では、例えばフレームめつき法によって、一対の接続層 57 b の上に、例えば Cu よりなる一対の接続層 58 を形成する。なお、図示しないが、このとき同時に、リード層 36, 37 の接続部 36 a, 37 a とは反対側の端部近傍の部分の上にも、例えば Cu よりなる接続層を形成する。次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 29 を、 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ の厚みに形成し、その表面を平坦化する。このとき、一対の接続層 58 およびリード層 36, 37 の上に形成された一対の接続層の上面が露出する。次に、露出したこれらの接続層の上に、例えば Au よりなる電極用パッドを形成する。図 17 A には、接続層 58 の上に形成された電極用パッド 59 のみを示している。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面 30 を形成して、記録ヘッドおよび再生ヘッドを含む薄膜磁気ヘッドが完成する。

本実施の形態における薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面 30 と、再生ヘッドと、記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを備えている。

再生ヘッドは、エアベアリング面 30 の近傍に配置された MR 素子 5 と、エアベアリング面 30 側の一部が MR 素子 5 を挟んで対向するように配置された、MR 素子 5 をシールドするための下部シールド層 3 および上部シールド層 8 と、MR 素子 5 と下部シールド層 3 との間に配置された下部シールドギャップ膜 4 と、MR 素子 5 と上部シールド層 8 との間に配置された上部シールドギャップ膜 7 を有している。

記録ヘッドは、エアベアリング面 30 側において互いに對向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された下部磁極層 10 および上部磁極層 27 と、下部磁極層 10 の磁極部分と上部磁極層 27 の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層 25 と、少なくとも一部が下部磁極層 10 と上部磁極層 27 との間に、これらに対して絶縁された状態で設けられたコイル 13, 18 とを備えている。本実施の形態における下部磁極層 10、上部磁極層 27 は、それぞれ本発明における第 1 の磁極層、第 2 の磁極層に対応する。

下部磁極層 10 は、コイル 13, 18 に対向する位置に配置された第 1 の層 10a と、コイル 13, 18 よりもエアベアリング面 30 に近い位置に配置され且つ第 1 の層 10a における記録ギャップ層 25 に近い面に接続された第 2 の層 10b と、一方の面が第 2 の層 10b における記録ギャップ層 25 に近い面に接続され、他方の面が記録ギャップ層 25 に隣接する第 4 の層 10d と、エアベアリング面 30 から離れた位置において、第 1 の層 10a の上に配置された第 3 の層 10c と、この第 3 の層 10c の上に配置された第 5 の層 10e とを有している。第 3 の層 10c および第 5 の層 10e は、下部磁極層 10 と上部磁極層 27 を磁気的に連結する連結部 31 (図 18 参照) を構成する。

上部磁極層 27 は、平坦な記録ギャップ層 25 の上に形成され、全体的に平坦な層になっている。また、上部磁極層 27 は、共に平坦な第 1 の層 27a および第 2 の層 27b を有している。また、上部磁極層 27 は、エアベアリング面 30 に配置された一端部とその反対側の他端部と記録トラック幅に等しい幅とを有するトラック幅規定部 27A と、トラック幅規定部 27A の他端部に連結され、記録トラック幅よりも広い幅を有する幅広部 27B とを含んでいる。同様に、第 1 の層 27a と第 2 の層 27b は、それぞれ、エアベアリング面 30 に配置された一端部とその反対側の他端部と記録トラック幅に等しい幅とを有するトラック幅規定部 27Aa, 27Ab と、トラック幅規定部 27Aa, 27Ab の他端部に連結され、記録トラック幅よりも広い幅を有する幅広部 27Ba, 27Bb とを含んでいる。第 2 の層 27b は、本発明におけるトラック幅規定層に対応する。

記録トラック幅は、特に限定されないが、記録密度向上のためには、0.05 ~ 0.15 μm の範囲内であることが好ましい。また、エアベアリング面 30 に垂直な方向についてのトラック幅規定部 27A, 27Aa, 27Ab の長さは、特に限定されないが、オーバーライト特性向上のためには、0.05 ~ 0.5 μm の範囲内であることが好ましく、0.05 ~ 0.3 μm の範囲内であることがより好ましい。

図 18 に示したように、本実施の形態における薄膜コイルは、一部が下部磁極層 10 の第 2 の層 10b と下部磁極層 10 の第 3 の層 10c との間に配置された巻線を有する第 1 のコイル 13 と、少なくとも一部が第 1 のコイル 13 の巻線間

に配置された巻線を有する第2のコイル18とを含んでいる。第2のコイル18の巻線の一部も、第2の層10bと第3の層10cとの間に配置されている。コイル13, 18は、いずれも平面渦巻き状をなし、連結部31の回りに配置されている。

第1のコイル13の接続部13bは、接続層35a, 35bを介してリード層37に接続されている。第1のコイル13の接続部13aは、接続層33a, 33bを介して第2のコイル18の接続部18bに接続されている。第2のコイル18の接続部18aは、接続層34a, 34bを介してリード層36に接続されている。このようにして、コイル13, 18によって連続する巻線が形成される。

以下、本実施の形態における上部磁極層27の第2の層27bを形成する工程について詳しく説明する。第2の層27bを形成する工程は、本発明におけるレジスト層としてのフォトレジスト層56pを形成する工程と、このフォトレジスト層56pにトラック幅規定層としての第2の層27bに対応した潜像が形成されるようにフォトレジスト層56pを放射エネルギー、例えば光によって露光する工程とを含んでいる。第2の層27bを形成する工程は、更に、露光後のフォトレジスト層56pを現像して、第2の層27bに対応した溝部を有するフレーム56を形成する工程と、フレーム56を用いて、フレームめっき法により、第2の層27bを形成する工程とを含んでいる。

フォトレジスト層56pを露光する工程は、フォトレジスト層56pに第1の潜像が形成されるように、フォトレジスト層56pを放射エネルギー、例えば光によって露光する第1の露光工程と、第1の露光工程の前または後に実施され、フォトレジスト層56pに第2の潜像が形成されるように、フォトレジスト層56pを放射エネルギー、例えば光によって露光する第2の露光工程とを含んでいる。

図20は、第1の露光工程においてフォトレジスト層56pに放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。図21は、第2の露光工程においてフォトレジスト層56pに放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。

なお、図20および図21において、エアベアリング面30を示す破線よりも

上側の部分が薄膜磁気ヘッドとなる部分であり、エアベアリング面 3 0 を示す破線よりも下側の部分は、薄膜磁気ヘッドの製造過程において、エアベアリング面 3 0 を形成する前に除去される部分である。この除去される部分には、薄膜磁気ヘッドの製造過程において、薄膜コイルの短絡の有無の検査や、MR 素子 5 の静電破壊防止のために用いられる、図示しない端子部が形成される。この端子部は、第 2 の層 2 7 b と同時に形成され、第 2 の層 2 7 b に連結される。端子部は、第 2 の層 2 7 b のトラック幅規定部 2 7 A b に連続して延びる細幅部分と、この細幅部分に連結された幅広部分とを含んでいる。

図 2 0 に示したように、第 1 の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層 5 6 p に第 1 の潜像 6 1 と第 3 の潜像 6 3 とが形成される。第 1 の潜像 6 1 は、第 2 の層 2 7 b のトラック幅規定部 2 7 A b に対応する第 1 の部分 6 1 a と、この第 1 の部分 6 1 a に連続して第 2 の層 2 7 b の幅広部 2 7 B b の輪郭に沿って延びる第 2 の部分 6 1 b からなる。第 3 の潜像 6 3 は、端子部の細幅部分に対応する部分 6 3 a と、この部分 6 3 a に連続して端子部の幅広部分の輪郭に沿って延びる部分 6 3 b からなる。

第 1 の潜像 6 1 の第 1 の部分 6 1 a および第 3 の潜像 6 3 の部分 6 3 a の幅は、例えば $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$ の範囲内である記録トラック幅と等しくてもよいし、記録トラック幅よりも若干大きくてもよい。部分 6 1 a, 6 3 a の幅を記録トラック幅よりも大きくした場合には、フレームめっき法によって形成された直後の第 2 の層 2 7 b のトラック幅規定部 2 7 A b の幅、およびこれと等しくなるトラック幅規定部 2 7 A の幅は、記録トラック幅よりも大きくなる。そのため、この場合には、例えばイオンビームエッティングによってトラック幅規定部 2 7 A の側壁部をエッティングして、トラック幅規定部 2 7 A の幅を所望の記録トラック幅に等しくする。

第 1 の潜像 6 1 の第 2 の部分 6 1 b および第 3 の潜像 6 3 の部分 6 3 b の幅は、第 1 の潜像 6 1 の第 1 の部分 6 1 a および第 3 の潜像 6 3 の部分 6 3 a の幅と等しくてもよいし、これよりも若干大きくてもよい。例えば、部分 6 1 b, 6 3 b の幅は、 $0.15 \sim 0.3 \mu\text{m}$ の範囲内であってもよい。

図21に示したように、第2の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層56pに第2の潜像62と第4の潜像64とが形成される。なお、図21では、第1の露光工程によって形成される第1の潜像61と第3の潜像63を点線で表している。

第2の潜像62は、第1の潜像61と合成されて第2の層27bに対応した潜像を形成するものであって、第2の層27bのトラック幅規定部27Abに対応する部分を含まないものである。図21に示した例では、第2の潜像62は、第2の層27bの幅広部27Bbのうち、幅広部27Bbの輪郭近傍の一部を除いた部分に対応した形状になっている。また、第1の潜像61の一部と第2の潜像62の一部は重なる。

第4の潜像64は、第3の潜像63と合成されて端子部に対応した潜像を形成するものであって、端子部の細幅部分に対応する部分を含まないものである。図21に示した例では、第4の潜像64は、端子部の幅広部分のうち、幅広部分の輪郭近傍の一部を除いた部分に対応した形状になっている。また、第3の潜像63の一部と第4の潜像64の一部は重なる。

本実施の形態では、第1の露光工程においてフォトレジスト層56pに与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量は、第2の露光工程においてフォトレジスト層56pに与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量よりも多い。単位面積当たりの放射エネルギー量の調整は、例えば、露光時間を調整することによって行なわれる。

一般的に、ポジ型レジストの場合には、それに与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量が多くなるほど、形成される潜像の線幅は細くなる。従って、ポジ型レジストよりなるフォトレジスト層に潜像を形成する場合において、細い幅の潜像を形成する場合と太い幅の潜像を形成する場合とでは、それらに適した単位面積当たりの放射エネルギー量は異なる。すなわち、細い幅の潜像を形成する場合には単位面積当たりの放射エネルギー量を多くする必要があるが、太い幅の潜像を形成する場合には単位面積当たりの放射エネルギー量をそれほど多くする必要はない。

ここで、本実施の形態との比較のために、1回の露光によって、フォトレジス

ト層 5 6 p に第 2 の層 2 7 b に対応した潜像を形成する場合を考える。この場合、第 2 の層 2 7 b に対応した潜像は、トラック幅規定部 2 7 A b に対応した細い幅の部分と、幅広部 2 7 B b に対応した太い幅の部分とを含んでいる。1 回の露光によって、この潜像を形成する場合には、細い幅の部分を形成するために、単位面積当たりの放射エネルギー量を多くする必要がある。しかし、そうすると、フォトレジスト層 5 6 p の下に存在する電極膜のうちの幅広部 2 7 B b に対応する部分で反射される放射エネルギー量も多くなる。その結果、フレーム 5 6 のうち、第 2 の層 2 7 b のトラック幅規定部 2 7 A b と幅広部 2 7 B b の境界部分に対応する部分の近傍の形状が崩れてしまうという問題が発生する。一方、第 2 の層 2 7 b に対応した潜像を形成する際に、単位面積当たりの放射エネルギー量を、幅広部 2 7 B b に対応した太い幅の部分を形成するのに適した量にすると、トラック幅規定部 2 7 A b に対応した細い幅の部分を形成することができなくなる。

これに対し、本実施の形態では、前述のように第 1 の露光工程と第 2 の露光工程という 2 回の露光工程によって、フォトレジスト層 5 6 p に第 2 の層 2 7 b に対応した潜像を形成する。第 1 の露光工程では、細い幅の部分を含む第 1 の潜像 6 1 および第 3 の潜像 6 3 を形成することから、フォトレジスト層 5 6 p に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量を多くする必要がある。しかし、この第 1 の露光工程では、幅広部 2 7 B b に対応する部分の大部分は露光されない。そのため、第 1 の露光工程では、電極膜のうちの幅広部 2 7 B b に対応する部分で反射される放射エネルギー量は少ない。これにより、フレーム 5 6 の形状の崩れが防止される。

また、第 2 の露光工程では、細い幅の部分を含まない第 2 の潜像 6 2 および第 4 の潜像 6 4 を形成することから、第 1 の露光工程に比べて、フォトレジスト層 5 6 p に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量は少なくてよい。そのため、第 2 の露光工程では、1 回の露光によって第 2 の層 2 7 b に対応した潜像を形成する場合に比べて、電極膜のうちの幅広部 2 7 B b に対応する部分で反射される放射エネルギー量を少なくすることができる。これにより、第 2 の露光工程においても、フレーム 5 6 の形状の崩れが防止される。

以上説明したように、本実施の形態によれば、第 1 の露光工程と第 2 の露光工

程を、それぞれに適した条件で行なうことができ、これにより、トラック幅を規定する第2の層27bを精度よく形成することが可能になる。また、本実施の形態では、平坦な第1の層27aと第2の層27bを、いずれも平坦な面の上に形成することができる。これらのことから、本実施の形態によれば、トラック幅規定部27Abを微細に且つ精度よく形成することができる。これにより、本実施の形態によれば、トラック幅を小さくして記録密度を向上させることができる。

[第2の実施の形態]

次に、図22および図23を参照して、本発明の第2の実施の形態について説明する。図22は、本実施の形態における第1の露光工程においてフォトレジスト層56pに放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。図23は、本実施の形態における第2の露光工程においてフォトレジスト層56pに放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。

図22に示したように、第1の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層56pに第1の潜像61と第3の潜像63とが形成される。第1の潜像61は、第2の層27bのトラック幅規定部27Abに対応する第1の部分61aと、この第1の部分61aに連続して第2の層27bの幅広部27Bbの輪郭の一部に沿って延びる第2の部分61bからなる。第3の潜像63は、端子部の細幅部分に対応する部分63aと、この部分63aに連続して端子部の幅広部分の輪郭の一部に沿って延びる部分63bからなる。

図23に示したように、第2の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層56pに第2の潜像62と第4の潜像64とが形成される。なお、図23では、第1の露光工程によって形成される第1の潜像61と第3の潜像63を点線で表している。

第2の潜像62は、第1の潜像61と合成されて第2の層27bに対応した潜像を形成するものであって、第2の層27bのトラック幅規定部27Abに対応する部分を含まないものである。図23に示した例では、第2の潜像62は、第2の層27bの幅広部27Bbのうち、幅広部27Bbの輪郭近傍の一部を除いた部分に対応した形状になっている。また、第1の潜像61の一部と第2の潜像

6 2 の一部は重なる。

第4の潜像6 4は、第3の潜像6 3と合成されて端子部に対応した潜像を形成するものであって、端子部の細幅部分に対応する部分を含まないものである。図2 3に示した例では、第4の潜像6 4は、端子部の幅広部分のうち、幅広部分の輪郭近傍の一部を除いた部分に対応した形状になっている。また、第3の潜像6 3の一部と第4の潜像6 4の一部は重なる。

本実施の形態のように、第1の露光工程によって形成される第1の潜像6 1の第2の部分6 1 bは、幅広部2 7 B bの輪郭の全体ではなく一部に沿って延びる部分であってもよい。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

[第3の実施の形態]

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。始めに、図2 4 Aおよび図2 4 Bを参照して、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法の概略について説明する。図2 4 Aおよび図2 4 Bは、本実施の形態における薄膜磁気ヘッドを示す断面図である。図2 4 Aはエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図2 4 Bは磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、例えばアルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$) よりなる基板1の上に、例えばアルミナ (Al_2O_3) よりなる絶縁層2を形成する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料よりなる下部シールド層3を形成する。次に、下部シールド層3の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜4を形成する。次に、下部シールドギャップ膜4の上にMR素子5を形成する。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5に電気的に接続される一対の電極層6を形成する。次に、下部シールドギャップ膜4およびMR素子5の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜7を形成し、MR素子5をシールドギャップ膜4、7内に埋設する。次に、上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料よりなる上部シールド層8を形成する。次に、ここまで得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層9を形成する。ここまで得られた工程は、第1の実施の形態と同様

である。

本実施の形態では、次に、絶縁層9の上に下部磁極層70を形成する。下部磁極層70は、いずれも磁性材料よりなる第1ないし第3の層70a, 70b, 70cを含んでいる。下部磁極層70を形成する工程では、まず、絶縁層9の上に第1の層70aを形成する。次に、第1の層70aの上に磁性層を形成する。次に、この磁性層を選択的にエッチングすることによって、第2の層70bと第3の層70cを形成する。第2の層70bは、エアベアリング面90の近傍に配置される。第3の層70cは、第1の層70aと後述する上部磁極層とを接続するための部分であり、後述する薄膜コイルの中心の近傍の位置に配置される。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層71を、第2の層70bおよび第3の層70cの厚み以上の厚みに形成し、例えばCMPによって、第2の層70bおよび第3の層70cが露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。第2の層70bのエアベアリング面90から遠い端部は、記録ヘッドのスロートハイトを規定する。

次に、積層体の上面全体を覆うように、絶縁材料または非磁性金属材料よりなる記録ギャップ層75を形成する。次に、記録ギャップ層75を選択的にエッチングして、第3の層70cに対応する位置において、記録ギャップ層75に開口部を形成する。

次に、上部磁極層77および薄膜コイルを形成する。上部磁極層77は、いずれも磁性材料よりなる第1ないし第7の層77a, 77b, 77c, 77d, 77e, 77f, 77gを含んでいる。薄膜コイルは、いずれも例えばCuよりなる第1のコイル81と第2のコイル85とを含んでいる。

上部磁極層77および薄膜コイルを形成する工程では、まず、記録ギャップ層75の上に第1の層77aを形成すると共に、記録ギャップ層75の開口部より露出する第3の層70cの上に、第2の層77bを形成する。第1の層77aは、エアベアリング面90の近傍に配置される。後で詳しく説明するが、第1の層77aは、トラック幅規定部を含んでいる。

次に、第1の層77aのトラック幅規定部の周辺部で開口するフォトレジストマスクを形成する。次に、上記フォトレジストマスクと第1の層77aとをマス

クとし、例えばRIEやイオンビームエッティングによって、トラック幅規定部の周辺部における記録ギャップ層75をエッティングする。次に、第1の層77aおよびその下の記録ギャップ層75と上記フォトレジストマスクとをマスクとし、例えばRIEやイオンビームエッティングによって、トラック幅規定部の周辺部における下部磁極層70の第2の層70bおよび第1の層70aの各一部をエッティングする。このようにして、図24Bに示したようなトリム構造が形成される。

次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層78を、第1の層77aおよび第2の層77bの厚み以上の厚みに形成し、例えばCMPによって、第1の層77aおよび第2の層77bが露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、絶縁層78の上に、第1のコイル81を形成する。第1のコイル81は、第2の層77bの回りに配置される。次に、第1の層77aの上に第3の層77cを形成すると共に、第2の層77bの上に第4の層77dを形成する。第3の層77cのエアベアリング面90側の端部は、エアベアリング面90から離れた位置に配置される。次に、第1のコイル81を覆うように、例えばフォトレジストよりなる絶縁層82を形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層83を、第3の層77cおよび第4の層77dの厚み以上の厚みに形成し、例えばCMPによって、第3の層77cおよび第4の層77dが露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。なお、このとき、第1のコイル81の上面は露出するようにしてもよいし、露出しないようにしてもよい。

次に、第1のコイル81の上面を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層84を形成する。次に、絶縁層84の上に、第2のコイル85を形成する。第2のコイル85は、第4の層77dの回りに配置される。次に、第3の層77cの上に第5の層77eを形成すると共に、第4の層77dの上に第6の層77fを形成する。第5の層77eのエアベアリング面90側の端部は、エアベアリング面90から離れた位置に配置される。次に、第2のコイル85を覆うように、例えばフォトレジストよりなる絶縁層86を形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層87を、第5の層77eおよび第6の層77fの厚み以上の厚みに形成し、例えばCMPによって、第5の層77eおよび第6の層77fが露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。なお、このとき、第2のコイル

8 5 の上面は露出するようにしてもよいし、露出しないようにしてもよい。

第 1 のコイル 8 1 と第 2 のコイル 8 5 は、いずれも平面渦巻き状をなしている。ただし、第 2 のコイル 8 5 の巻線の外側の端部から内側の端部へ向かう回転の方向は、第 1 のコイル 8 1 の巻線の外側の端部から内側の端部へ向かう回転の方向とは逆である。第 1 のコイル 8 1 の内側の端部と第 2 のコイル 8 5 の内側の端部は互いに接続され、これにより、連続する巻線が形成される。

次に、第 5 の層 7 7 e と第 6 の層 7 7 f を連結するように第 7 の層 7 7 g を形成する。第 7 の層 7 7 g のエアベアリング面 9 0 側の端部は、エアベアリング面 9 0 から離れた位置に配置される。次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 8 9 を形成し、その表面を平坦化する。次に、オーバーコート層 8 9 の上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面 9 0 を形成して、記録ヘッドおよび再生ヘッドを含む薄膜磁気ヘッドが完成する。

本実施の形態における薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面 9 0 と、再生ヘッドと、記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを備えている。

再生ヘッドは、エアベアリング面 9 0 の近傍に配置された MR 素子 5 と、エアベアリング面 9 0 側の一部が MR 素子 5 を挟んで対向するように配置された、MR 素子 5 をシールドするための下部シールド層 3 および上部シールド層 8 と、MR 素子 5 と下部シールド層 3 との間に配置された下部シールドギャップ膜 4 と、MR 素子 5 と上部シールド層 8 との間に配置された上部シールドギャップ膜 7 を有している。

記録ヘッドは、エアベアリング面 9 0 側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された下部磁極層 7 0 および上部磁極層 7 7 と、下部磁極層 7 0 の磁極部分と上部磁極層 7 7 の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層 7 5 と、少なくとも一部が下部磁極層 7 0 と上部磁極層 7 7 との間に、これらに対して絶縁された状態で設けられたコイル 8 1, 8 5 とを備えている。本実施の形態における下部磁極層 7 0 、上部磁極層 7 7 は、それぞれ本発明における第 1 の磁極層、第 2 の磁極層に対応する。

図25は、上部磁極層77の第1の層77aとその周辺を示す平面図である。図25に示したように、第1の層77aは、エアペアリング面90に配置された一端部とその反対側の他端部と記録トラック幅に等しい幅とを有するトラック幅規定部77a1と、トラック幅規定部77a1の他端部に連結され、記録トラック幅よりも広い幅を有する幅広部77a2とを含んでいる。具体的には、幅広部77a2の幅は、トラック幅規定部77a1との境界位置ではトラック幅規定部77a1の幅と等しく、トラック幅規定部77a1から離れるに従って、徐々に大きくなつた後、一定の大きさになつてゐる。第1の層77aは、本発明におけるトラック幅規定層に対応する。また、トラック幅規定部77a1は、上部磁極層77の磁極部分を構成する。下部磁極層70の第2の層70bのうち、記録ギャップ層75を介してトラック幅規定部77a1と対向する部分は、下部磁極層70の磁極部分である。

記録トラック幅は、特に限定されないが、記録密度向上のためには、0.05～0.15μmの範囲内であることが好ましい。また、エアペアリング面90に垂直な方向についてのトラック幅規定部77a1の長さは、特に限定されないが、オーバーライト特性向上のためには、0.05～0.5μmの範囲内であることが好ましく、0.05～0.3μmの範囲内であることがより好ましい。

以下、本実施の形態における上部磁極層77の第1の層77aを形成する工程について詳しく説明する。第1の層77aは、第1の実施の形態における上部磁極層27の第2の層27bと同様の方法によって形成される。すなわち、第1の層77aを形成する工程は、本発明におけるレジスト層としてのフォトレジスト層を形成する工程と、このフォトレジスト層にトラック幅規定層としての第1の層77aに対応した潜像が形成されるようにフォトレジスト層を放射エネルギー、例えば光によって露光する工程と、露光後のフォトレジスト層を現像して、第1の層77aに対応した溝部を有するフレームを形成する工程と、フレームを用いて、フレームめつき法により、第1の層77aを形成する工程とを含んでゐる。

フォトレジスト層を露光する工程は、フォトレジスト層に第1の潜像が形成されるように、フォトレジスト層を放射エネルギー、例えば光によって露光する第1の露光工程と、第1の露光工程の前または後に実施され、フォトレジスト層に第

2の潜像が形成されるように、フォトレジスト層を放射エネルギー、例えば光によって露光する第2の露光工程とを含んでいる。

図26は、第1の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。図27は、第2の露光工程においてフォトレジスト層に放射エネルギーが照射される領域を、ハッチングを付して示している。

図26に示したように、第1の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層に第1の潜像91が形成される。第1の潜像91は、第1の層77aのトラック幅規定部77a1に対応する第1の部分91aと、この第1の部分91aに連続して第1の層77aの幅広部77a2の輪郭の少なくとも一部に沿って延びる第2の部分91bからなる。なお、図26には、第2の部分91bが、幅広部77a2の輪郭の全体に沿って延びる例を示している。しかし、第2の実施の形態と同様に、第2の部分91bは、幅広部77a2の輪郭の一部に沿って延びるものであってもよい。

第1の潜像91の第1の部分91aの幅は、例えば $0.05\sim0.15\mu m$ の範囲内である記録トラック幅と等しくてもよいし、記録トラック幅よりも若干大きくてもよい。第1の部分91aの幅を記録トラック幅よりも大きくした場合には、フレームめつき法によって形成された直後の第1の層77aのトラック幅規定部77a1の幅は、記録トラック幅よりも大きくなる。そのため、この場合には、例えばイオンビームエッチングによってトラック幅規定部77a1の側壁部をエッチングして、トラック幅規定部77a1の幅を所望の記録トラック幅に等しくする。

第2の部分91bの幅は、第1の部分91aの幅と等しくてもよいし、これよりも若干大きくてもよい。例えば、第2の部分91bの幅は、 $0.15\sim0.3\mu m$ の範囲内であってもよい。

図27に示したように、第2の露光工程では、ハッチングを付した領域に放射エネルギーが照射されることにより、フォトレジスト層に第2の潜像92が形成される。なお、図27では、第1の露光工程によって形成される第1の潜像91を点線で表している。

第2の潜像92は、第1の潜像91と合成されて第1の層77aに対応した潜像を形成するものであって、第1の層77aのトラック幅規定部77a1に対応する部分を含まないものである。図27に示した例では、第2の潜像92は、第1の層77aの幅広部77a2のうち、幅広部77a2の輪郭近傍の一部を除いた部分に対応した形状になっている。また、第1の潜像91の一部と第2の潜像92の一部は重なる。

本実施の形態では、第1の露光工程においてフォトレジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量は、第2の露光工程においてフォトレジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量よりも多い。単位面積当たりの放射エネルギー量の調整は、例えば、露光時間を調整することによって行なわれる。

本実施の形態によれば、第1の露光工程と第2の露光工程を、それぞれに適した条件で行なうことができ、これにより、トラック幅を規定する第1の層77aを精度よく形成することが可能になる。また、本実施の形態では、平坦な第1の層77aを平坦な面の上に形成することができる。これらのことから、本実施の形態によれば、トラック幅規定部77a1を微細に且つ精度よく形成することができる。これにより、本実施の形態によれば、トラック幅を小さくして記録密度を向上させることができる。

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、第3の実施の形態では、積層された2層のコイル81、85を含む薄膜コイルを用いている。しかし、第3の実施の形態において、第1の実施の形態における薄膜コイルを用いてもよい。この場合には、上部磁極層77の第5の層77eおよび第6の層77fが不要になる。

また、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用の薄膜磁気ヘッドや、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。従って、以下の請求の範囲の均等の範囲において、上記の最良の形

態以外の形態でも本発明を実施することが可能である。

クレーム

1. 記録媒体に対向する媒体対向面と、

前記媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された第1および第2の磁極層と、

前記第1の磁極層の磁極部分と前記第2の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、

少なくとも一部が前記第1および第2の磁極層の間に、前記第1および第2の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備え、

一方の磁極層は、トラック幅規定層を有し、

前記トラック幅規定層は、媒体対向面に配置された一端部とその反対側の他端部とトラック幅に等しい幅とを有するトラック幅規定部と、前記トラック幅規定部の他端部に連結され、トラック幅よりも広い幅を有する幅広部とを含む薄膜磁気ヘッドを製造する方法であって、

前記第1の磁極層を形成する工程と、

前記第1の磁極層の上に前記薄膜コイルを形成する工程と、

前記第1の磁極層の磁極部分の上に前記ギャップ層を形成する工程と、

前記ギャップ層の上に前記第2の磁極層を形成する工程とを備え、

一方の磁極層を形成する工程は、前記トラック幅規定層を形成する工程を含み

、
前記トラック幅規定層を形成する工程は、

レジスト層を形成する工程と、

前記レジスト層に前記トラック幅規定層に対応した潜像が形成されるようにレジスト層を放射エネルギーによって露光する工程と、

露光後のレジスト層を現像して、前記トラック幅規定層に対応した溝部を有するフレームを形成する工程と、

前記フレームを用いて、めっき法により、前記トラック幅規定層を形成する工程とを含み、

前記レジスト層を露光する工程は、

前記レジスト層に第1の潜像が形成されるように、レジスト層を放射エネルギー

によって露光する第 1 の露光工程と、

前記第 1 の露光工程の前または後に実施され、前記レジスト層に第 2 の潜像が形成されるように、レジスト層を放射エネルギーによって露光する第 2 の露光工程とを含み、

前記第 1 の潜像は、前記トラック幅規定部に対応する第 1 の部分と、この第 1 の部分に連続して前記幅広部の輪郭の少なくとも一部に沿って延びる第 2 の部分からなり、

前記第 2 の潜像は、前記第 1 の潜像と合成されて前記トラック幅規定層に対応した潜像を形成するものであって、前記トラック幅規定部に対応する部分を含まないものであることを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

2. 前記第 1 の露光工程において前記レジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量は、前記第 2 の露光工程において前記レジスト層に与えられる単位面積当たりの放射エネルギー量よりも多いことを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

3. 前記第 1 の潜像の一部と第 2 の潜像の一部は重なることを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

4. 前記第 1 の磁極層は、スロートハイトを規定し、
前記第 2 の磁極層が前記トラック幅規定層を有することを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

5. 前記トラック幅規定層は、平坦なギャップ層の上に配置されていることを特徴とする請求項 4 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

6. 前記トラック幅は、0.05～0.15 μm の範囲内であることを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

7. 前記媒体対向面に垂直な方向についての前記トラック幅規定部の長さは、
0. 05～0. 5 μ mの範囲内であることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気
ヘッドの製造方法。

要約

トラック幅規定層は、エアベアリング面に配置された一端部とその反対側の他端部とを有するトラック幅規定部と、トラック幅規定部の他端部に連結された幅広部とを含んでいる。トラック幅規定層はフレームめっき法によって形成される。フレームは、レジスト層を露光、現像して形成される。レジスト層を露光する工程は、レジスト層に第1の潜像を形成する第1の露光工程と、レジスト層に第2の潜像を形成する第2の露光工程とを含んでいる。第1の潜像は、トラック幅規定部に対応する第1の部分と、この第1の部分に連続して幅広部の輪郭に沿って延びる第2の部分からなる。第2の潜像は、第1の潜像と合成されてトラック幅規定層に対応した潜像を形成するものであって、トラック幅規定部に対応する部分を含まないものである。